

Team IP ディーゼル噴霧火炎内における微粒子特性に関する研究

研究者 伊藤貴之(D2) 植田真人(M2) 保坂智之(M1) 小川聰(B4)

2003 研究紹介資料

1. 本研究の背景

ディーゼル機関から排出される微粒子状物質のさらなる低減には、噴霧火炎内の微粒子生成特性を詳細に把握する必要があり、本研究では燃料の蒸発特性や分子構造等の燃料性状が、生成されるすす粒子径やすす体積濃度などの粒子特性に及ぼす影響を定量的に評価することを目的としている。本実験では自由度の高い実験条件の設定が可能である定容燃焼容器を用いて実現した非定常噴霧燃焼場に、高空間・時間分解能を有する LII の中でも TIRE-LII を適用することで、噴霧火炎二次元断面内におけるすす粒子の粒子径および体積濃度の定量的な時空間分布を調べた。

2. 計測原理および実験方法

2.1. 計測原理

すす粒子は強力なパルスレーザを照射されると、温度を 4000-4500K まで瞬間的に上昇させる。LII はこのときにすす粒子の放出する赤熱光(LII シグナル)を検出することですすを可視化する手法である。LII シグナルの減衰履歴は粒子径に依存することを利用して、微小時間差を設けた 2 つの LII シグナルの比からすすの粒子径を決定する TIRE-LII を用いた。また、LII シグナル強度はすす体積濃度にほぼ比例することより、すす体積濃度の測定も行った。

2.2. 数値シミュレーション

TIRE-LII では、異なる 2 時期の LII シグナルの比から粒子径を算出するため、すす粒子の LII シグナルの減衰履歴を事前に明らかにする必要がある。図 1 に各粒子径に対する LII シグナルの時間変化を示す。レーザ入射後 15ns 以降、粒子径が大きいほど LII シグナルの減衰が緩慢になることが分かる。

2.3. 実験方法

本実験では、自由度の高い実験条件の設定が可能である定容燃焼容器を用いた。燃焼室内温度の均一を図るため攪拌機を取り付け、さらに石英ガラスへの水蒸気の凝縮を防ぐためヒーターで燃焼室壁面を 363K まで加熱した。

実験方法としては、予め作成したアセチレン、酸素および窒素から構成される酸素過剰な希薄予混合気を燃焼室内に充填し、火花点火を行なうことにより高温・高圧場を実現し、燃料を噴射することでディーゼル燃焼を模擬するものである。図 2 に本実験における光学系を示す。光源には Nd:YAG レーザの第 2 高調波($\lambda=532\text{nm}$)を用い、

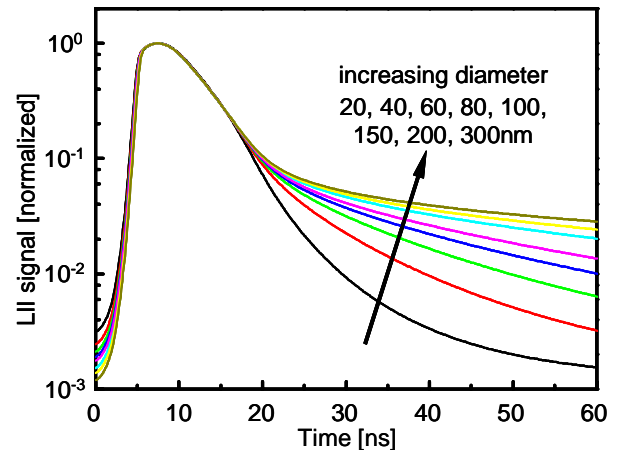


Fig.1 LII signal decay for various particle sizes
($T_{flame}=2300\text{K}$, $p_{amb}=3.6\text{MPa}$, Laser fluence= $1.4\text{J}/\text{cm}^2$)

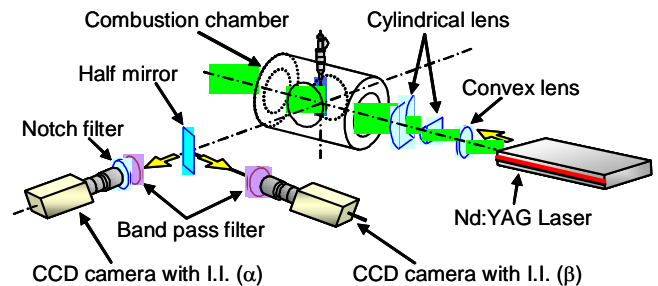


Fig.2 Optical measurement system for TIRE-LII method

Table.1 Experimental conditions

Injection system	Common rail			
Injection nozzle	Type : Hole nozzle (DLL-P)			
	Diameter of hole d_n [mm]	0.2		
	Length of hole L_n [mm]	0.8		
Pressure drop across injector orifice Δp_{inj} [MPa]	70			
Ambient density r_{amb} [kg/m ³]	16.2			
Ambient gas oxygen Concentration X_{O_2} [% by mol]	21			
Ambient temperature T_{amb} [K]	800, 1000			
Fuel	DBE	DGB	DGE	$n\text{-C}_{13}\text{H}_{28}$
Injection duration t_{inj} [ms]	4.0			

片凸レンズと2枚のシリンダリカルレンズにより平行シート光を形成し、燃料噴射ノズル中心軸上に照射させた。LII シグナルの検出はシート光に対して直角方向から、ハーフミラーを介した2台の prompt LII 検出用イメージンテンシファイヤ(以下 I.I.)付 CCD カメラ(α)と、delay LII 検出用 I.I.付 CCD カメラ(β)により行なった。また、TIRE-LII の画像取得時期はレーザ入射直後(prompt)と粒子径によって LII シグナル減衰履歴に明確な粒子径依存が見え始めるレーザ入射後 15ns(delay)とし、2 時期ともに I.I.のゲート幅を 20ns 間とした。

2.4. 実験条件

本実験条件を表 1 に示す。供試燃料には、噴霧火炎内のすすによるレーザ光と LII シグナルの減衰を極力防ぐため、すす生成の少ない含酸素燃料である、ジブチルエーテル(DBE)、ジエチレングリコールジブチルエーテル(DGB)、ジエチレングリコールジエチルエーテル(DGE)を使用した。また比較燃料として n-トリデカン(n-C₁₃H₂₈)を選んだ。

3. 実験結果および考察

図 3 に $T_{amb}=800K$ における DGB と n-C₁₃H₂₈ の LII シグナル強度 S_{LII} およびすす粒子径 d_p の時系列画像を示す。なお、図中の Gr は最も LII シグナル強度が強い条件(n-C₁₃H₂₈, $T_{amb}=1000K$, TASI=1.3ms)を基準とした相対的な輝度の校正倍率を表し、 Gr は数字が小さいほど LII シグナル強度が強いことを表す。また、撮影領域全体(ただし、噴霧断面全体ではない)について積算した LII シグナル強度(以下 I_{LII})の時系列変化を図 4 に示す。

LII シグナル強度分布は噴霧外縁部や先端部が強く、噴霧中心部は弱くなっている。これはレーザシート光が燃料噴射ノズル中心軸上を通過しているため、中心部の LII シグナルはレーザシート光と CCD カメラの間にあるすすによって減衰している可能性がある。

図 4 の $T_{amb}=800K$ の時、TASI=2.0 以降では各燃料とも I_{LII} はほぼ一定の値を示している。そのときの I_{LII} の値は $DGE < DGB < DBE < n-C_{13}H_{28}$ の順に高く、すすの生成量が多いことがわかる。ここで、燃料の酸素含有量は $n-C_{13}H_{28} < DBE < DGB < DGE$ の順で多く、高含酸素燃料ほどすすの生成量が少ない傾向にあり、 I_{LII} と相関があること

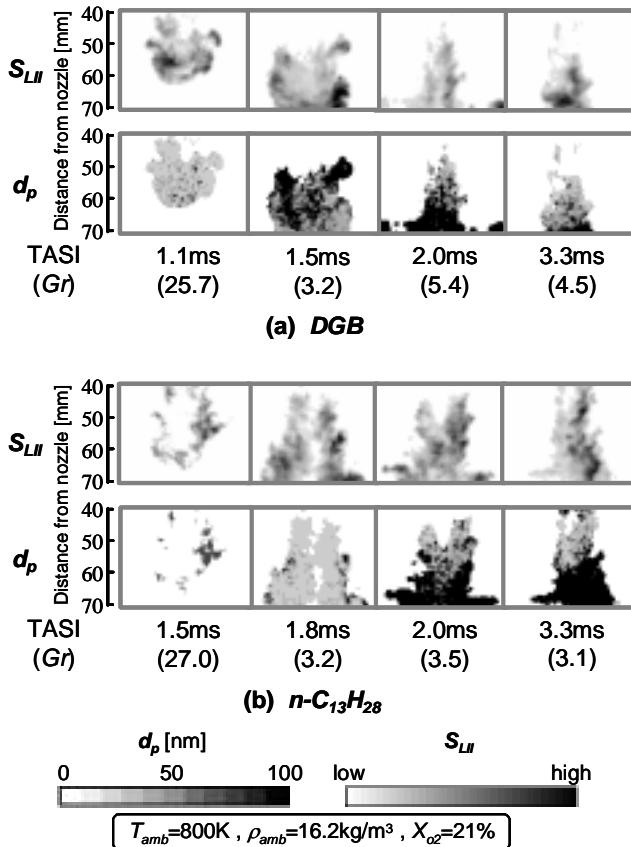


Fig.3 Distribution of soot diameters and LII signal intensity for each fuel

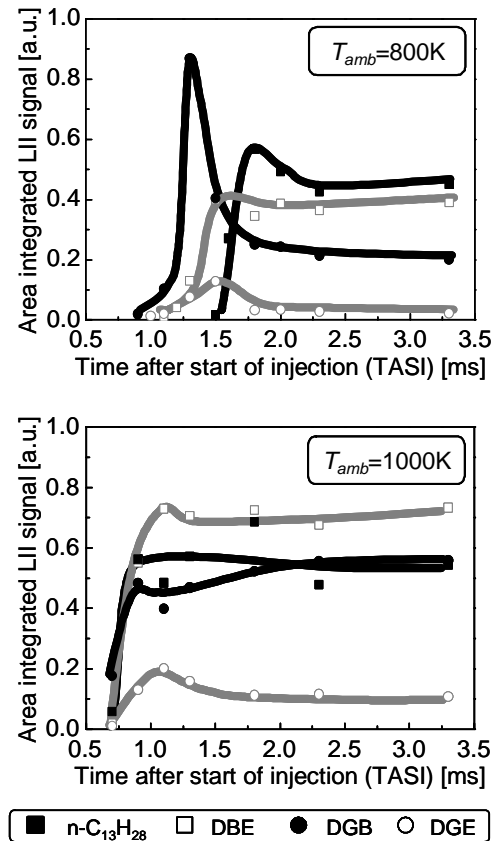


Fig.4 Temporal change of integrated LII signal

がわかる。さらに、 $T_{amb}=1000\text{K}$ の時は、 $n\text{-C}_{13}\text{H}_{28}$ 以外は $\text{TASI}=1.5$ 以降 I_{LII} はほぼ一定の値を示し、 $T_{amb}=800\text{K}$ の時と同じく $\text{DGE}<\text{DGB}<\text{DBE}$ の順に高くなっている。ここでも酸素含有量の相関は $T_{amb}=800\text{K}$ の時と同様に見られる。 $n\text{-C}_{13}\text{H}_{28}$ の I_{LII} の値が一定にならなかったのは、すすの生成量が多く LII シグナルが検出されない領域が存在するためと考えられる。

すす粒子分布は、DGB では TASI の早い時期から 100nm 以上の粒子径の領域がある。これは高酸素燃料ほど着火遅れ期間が短くなる傾向があり、着火遅れの短い燃料ほどすすは表面成長や凝集が進み、同じ TASI において粒子径が大きくなると考えられる。よって含酸素燃料間では $\text{DBE}<\text{DGB}<\text{DGE}$ の順で粒子径が大きい。

また、同じ TASI において LII シグナル強度分布とすす粒子径分布を比較すると、粒子径の大きい領域で LII シグナル強度の弱い領域が確認できる。これは、大粒子径の数密度が低く、逆に小粒子径の数密度が高い領域が存在すると推測できる。

4. 結言

- (1) LII シグナル強度は噴霧外縁部や先端部が強く、中心部はすすによる LII シグナルの減衰より弱い。
- (2) 高酸素燃料ほど LII シグナル強度は弱く、すすの生成量も少ない。
- (3) 含酸素燃料ほど着火遅れ期間が短く、同じ TASI において粒子径が大きい領域は広くなる。
- (4) すすの粒子径の大きい領域には LII シグナル強度の弱い数密度の低い領域が存在する。

5. 今後の予定

- (1) すす生成過程に及ぼす雰囲気条件の影響の把握 (LII, PAH-LIF)
- (2) 詳細 soot モデルの KIVA への組み込み